

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут харчових технологій  
Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок  
та косметичних засобів**

«До захисту в ЕК»  
Директор інституту ННІХТ  
Оксана КОЧУБЕЙ-  
ЛИТВИНЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2024 р.

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри ТЖХТ  
Тамара НОСЕНКО  
(підпис) (Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«\_\_» червня 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**  
зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Хімічна технологія  
на тему: Удосконалення технології отримання сульфіту натрію

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ХТ-4-13  
ШУЛЬГА Дарина Олексіївна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Керівник РОМАНОВА Олеся Олександрівна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти Ігор ЖИТНЕЦЬКИЙ  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Віра ІЩЕНКО  
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач (ка) \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2024 р.

# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інститут харчових технологій

Кафедра технології жирів, хімічних технологій харчових добавок та косметичних засобів

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Хімічна технологія

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТЖХТ

Тамара НОСЕНКО

“ ” 2024 року

## З А В Д А Н Н Я

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Шульга Дарина Олексіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення технології отримання сульфату натрію

керівник роботи РОМАНОВА Оlesia Олександрівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “15”квітня 2024 року № 296-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи потужність виробництва сульфату натрію (E221) становить 200 кг/добу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, аналітичний огляд науково-технічної літератури, технологічна частина, техніко-економічне обґрунтування, організація контролю якості продукції, екологічна безпека, охорона праці, висновки, список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

Лист 1. Принципова-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 2. Апаратурно-технологічна схема, формат аркушу А1

Лист 3. Креслення апарату (загальний вигляд), формат аркушу А1

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологічна частина	Житнецький І.В. к.т.н., доцент кафедри МАХтаФВ	13. 05.2024	31.05.2024

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 16 квітня 2024 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	13.05.2024	
2	РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	14.05.2024-16. 05.2024	
3	РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17. 05.2024-20. 05.2024	
4	РОЗДІЛ 3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	21. 05.2024-23. 05.2024	
5	РОЗДІЛ 4 ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	24. 05.2024-25. 05.2024	
6	РОЗДІЛ 5 ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	24.05.2024-27.05.2024	
7	РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ	25.05.2024-29.05.2024	
8	ВИСНОВКИ	30.05.2024-31. 05.2024	
9	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	02. 05.2024-30. 05.2024	
10	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. ПРИНЦИПОВА-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	13. 05.2024-19. 05.2024	
11	ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ. АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА	20. 05.2024-28. 05.2024	
12	ПЕРЕДЗАХИСТ, ПЕРЕВІРКА НА АКАДЕМПЛАГІАТ, РЕЦЕНЗУВАННЯ КР	03.06.2024-07.06.2024	

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дарина ШУЛЬГА \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Олеся РОМАНОВА \_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

**Шульга Д.О.** Удосконалення технології отримання сульфіту натрію.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА: 66 С., 10 РИС., 20 ТАБЛ., 22  
ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.

Темою кваліфікаційної роботи бакалавра є удосконалення технології отримання сульфіту натрію.

Обґрунтовано вибір технології отримання сульфіту натрію та наведено шляхи її удосконалення.

Розроблено удосконалені принципову та апаратурно-технологічні схеми отримання сульфіту натрію.

Розраховано матеріальний баланс кожної зі стадій виробництва продуктивністю 200 кг на добу. Проведено підбір основного технологічного обладнання та розраховано розпилювальну сушарку.

Наведено розрахунки техніко-економічної ефективності запропонованої технології виробництва сульфіту натрію, собівартість становить 179,7грн/кг, а рентабельність – 19%.

Описано заходи з охорони праці та навколишнього середовища, а також організація проведення контролю якості кінцевої продукції.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: СУЛЬФІТ НАТРІЮ, Е221, ВИРОБНИЦТВО, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ, ПРИНЦИПОВО ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ, АПАРАТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА, УДОСКОНАЛЕННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

## **ABSTRACT**

Shulha D.O. Improvement of the technology of sodium sulfite production.

EXPLANATORY NOTE: 66 P., 10 FIGS., 20 TABLES, 22 REFERENCES.

The topic of the bachelor's thesis is the improvement of the technology for the production of sodium sulfite.

The choice of technology for the production of sodium sulfite is substantiated and the ways of its improvement are given.

Improved schematic, hardware and technological schemes for the production of sodium sulfite have been developed.

The material balance of each of the production stages with a capacity of 200 kg per day was calculated. The selection of the main technological equipment was carried out and the spray dryer was calculated.

The calculations of the technical and economic efficiency of the proposed technology for the production of sodium sulfite are presented, with a cost of 179.7 UAH/kg and a profitability of 19%.

The measures for labor and environmental protection, as well as the organization of quality control of the final product are described.

**KEYWORDS: SODIUM SULFITE, E221, PRODUCTION, PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES, FLOW DIAGRAM, PROCESS EQUIPMENT, INSTRUMENTATION AND TECHNOLOGICAL SCHEME, IMPROVEMENT, LABOR PROTECTION.**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ I АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1 Характеристика сировини .....	9
1.2 Галузі використання.....	13
1.3 Стан сировинної бази.....	17
1.4 Аналіз існуючих технологій виробництва.....	18
РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	23
2.1 Характеристика вихідної сировини.....	23
2.2 Опис принципово технологічної схеми виробництва .....	27
2.3 Розрахунок матеріального балансу .....	30
2.4 Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання.....	33
2.5 Опис апаратурно-технологічної схеми .....	46
РОЗДІЛ III ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ .....	49
3.1 Розрахунок потреби у сировині .....	50
3.2 Розрахунок капітальних витрат та на комунальні послуги.....	51
3.3 Розрахунок собівартості та рентабельності.....	52
РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ .....	54
РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ .....	58
5.1 Правила поведінки у виробничих приміщеннях.....	58
5.1 Правила поведінки технічного персоналу .....	59
5.3 Охорона навколишнього середовища .....	60
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	64

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технічне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
НУХТ	<i>Розробник документа</i> Шульга Д.О.	ЗМІСТ	<i>Назва, додаткова назва</i> ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.005.КП.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 15.05.2024	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 6/66

## ВСТУП

Сульфiт натрiю є багатофункцiональною хiмiчною сполукою, яка грає важливу роль у багатьох галузях промисловостi. Його здатнiсть дiяти як антиоксидант, вiдновлювальний агент i консервант робить його незамiнним компонентом у багатьох технологiчних процесах. Важливiсть сульфiту натрiю полягає в його здатностi покращувати якiсть продукцiї, пiдвищувати ефективнiсть виробничих процесiв та забезпечувати безпечнiсть i тривалiсть зберiгання продуктiв.

iснує кiлька основних методiв отримання сульфiту натрiю ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), якi використовуються в промисловостi. Основнi методи включають взаємодiю натрiю з сiрчистими сполуками, а також рiзнi хiмiчнi реакцiї, якi дозволяють отримати цю сполуку в необхідних кiлькостях та з необхідною чистотою.

Отримання сульфiту натрiю може здiйснюватися рiзними методами залежно вiд доступностi вихiдних матерiалiв та умов, у яких проводиться процес. Основними методами є взаємодiя сiрчистого газу з гiдроксидом або карбонатом натрiю, вiдновлення сульфату натрiю, а також взаємодiя гiдросульфiту натрiю з лугами. Кожен iз цих методiв має свої переваги i використовується в рiзних промислових i лабораторних умовах.

Виробництво сульфiту натрiю є важливим для забезпечення потреб багатьох галузей промисловостi завдяки його численним корисним властивостям. Його антиоксидантнi, консервуючi та вiдновлювальнi властивостi роблять його незамiнним компонентом у процесах виробництва харчових продуктiв, паперу, текстилю, фотографiї, очищення води, хiмiчної та фармацевтичної промисловостi. Без сульфiту натрiю багато з цих процесiв були б менш ефективними або навіть неможливими.

<i>Вiдповiдальна органiзацiя</i> НУХТ, каф. ТЖХТ	<i>Технiчне узгодження</i> Романова О.О.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i>  НУХТ	<i>Розробник документа</i> Шульга Д.О.	<i>Назва, додаткова назва</i>  ВСТУП	<i>ННХТ.ХТ-3-14.024.161.007.КП.ПЗ</i>			
	<i>Документ затверджено</i> Носенко Т.Т.		<i>Инд. змін.</i>	<i>Дата видання</i> 15.05.2024	<i>Мова</i> ua	<i>Аркуш</i> 7/66

**Мета:** проаналізувати науково-технічну літературу щодо методів виробництва сульфіту натрію (E221) та на основі вивчених даних запропонувати удосконалення технології отримання цієї харчової добавки.

**Об'єкт дослідження:** технологія отримання сульфіту натрію.

**Предмет дослідження:** сульфит натрію.

Для реалізації поставленої мети поставлено такі **завдання:**

- Вивчення, аналіз та систематизація науково-технічної літератури;
- Навести характеристику вихідної сировини;
- Розрахувати матеріальний баланс виробництва;
- Розробити та описати принципово та апаратурно-технологічну схеми отримання сульфіту натрію;
- Надати техніко-економічне обґрунтування обраного способу;
- Навести охорону праці та вплив даного виробництва на навколишнє середовище;
- Сформулювати висновки.

## РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Характеристика сировини

Сульфiт натрiю – неорганiчна речовина, сiль натрiю i сульфiтної кислоти з хiмiчною формулою  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ . Це гiгроскопiчний бiлий порошок або гексагональнi призми без запаху жовтуватого кольору. Утворює семиводну сiль  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . В таблицi 1.1 наведено фiзико-хiмiчнi характеристики сульфiту натрiю [1, 2].

Таблиця 1.1

#### Опис властивостей натрiю сульфiту

Молекулярна маса	126,04 г/моль (безводний) 252,14 г/моль (гептагiдрат)
Точка плавлення	33,4°C (дегiдратацiя гептагiдрату) >500°C (безводний)
Розкладається при	600°C
Густина	2,633 г/см <sup>3</sup> (безводний) 1,561 г/см <sup>3</sup> (гептагiдрат)
Розчиннiсть у водi, г/100 мл при 20°C	26,1 (добре)
Розчиннiсть	Розчинний у глицеринi Нерозчинний в аміаку, хлорi, етанолi
Коефiцiєнт розподiлу октанол/вода як log Pow	-4
Водневий показник	pH 9 (гептагiдрат)
Показник заломлення ( $n_D$ )	1,565
Кристалiчна структура	Гексагональний (безводний) Моноклiнний (гептагiдрат)

Вiдповiдальна органiзацiя НУХТ, каф. ТЖХТ	Технiчне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ І АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.009.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 9/66

Теплоємність	120 Дж/(моль · К) (безводний) 418,4 Дж/(моль · К) (гептагідрат)
Ентальпія утворення	-095 кДж/моль (безводний) -3154,8 кДж/моль (гептагідрат)
Ентропія	146 Дж/(моль · К) (безводний) 451,9 Дж/(моль · К) (гептагідрат)
Енергія Гіббса	1005,4 кДж/моль

Натрію сульфід (рис.1.1, а) стійкий до взаємодії з киснем, але при нагріванні до 700 – 1200°C розкладається з  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  на сульфат натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , сульфід натрію  $\text{Na}_2\text{S}$ , натрію оксид  $\text{Na}_2\text{O}$  та сірчистий ангідрид  $\text{SO}_2$ . Проте при температурі 700 – 800°C протікає лиш диспропорціонування реакції 1.1:



За умови підвищення температури до 900 – 1200°C відбувається дисоціація (1.2):



Нагриваючи сульфід натрію в атмосфері CO при 400°C, можна отримати карбонат натрію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , сульфід натрію  $\text{Na}_2\text{S}$  і натрій сульфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , а при 700 – 900°C – майже повністю відновлюється до натрій сульфіду. Нагрівання з деревним вугіллям до 640 – 800°C протягом однієї години дозволяє відновити сульфід натрію до  $\text{Na}_2\text{S}$  на 92% [2].

Гептагідрат  $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (рис.1.1, б) утворюється з насичених розчинів за температури нижче 33,4°C. Він легко піддається окисленню киснем повітря, перетворюючись на сульфат натрію. Стабільність цієї сполуки зменшується при збільшенні її вологості та вологості навколишнього середовища. Для запобігання окисленню в невеликих кількостях додають інгібітори, таких як парафенолдіамін або диметилпарафенолдіамін. Використання цих інгібіторів дозволяє зберігати сульфід натрію довгий час без погіршення його якостей. При нагріванні до 150-160 °C гептагідрат зневоднюється [1, 2].



*a*

*б*

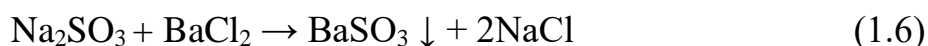
Рис.1.1 а – сульфїт натрію безводний, б – гептагїдрат

Для сульфїту натрію властиві типові реакції для солей:

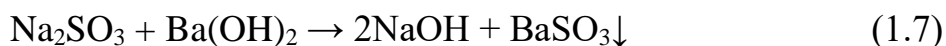
- реакція з сильнішими за сульфїтну кислотами, виділяючи діоксид сірки (1.3-1.5):



- реакція з іншою сіллю з утворенням осаду (1.6):



- реакція з лугами з утворенням осаду (1.7):



Сульфїт натрію сильний відновник, окиснюється з утворенням сульфату натрію (1.8):



При взаємодії з карбоном відновлюється до сульфїду натрію за температури 700 – 900°C (1.9):



Окиснюється хром (VI) оксидом, біхроматом калію й утворює солі вищих кислот (1.10-1.11):



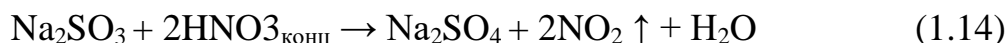
Розчини сульфіту натрію поглинають діоксид сірки, утворюючи гідросульфат натрію (1.12):



А при кип'ятінні приєднують сірку з утворенням тіосульфату натрію (1.13):

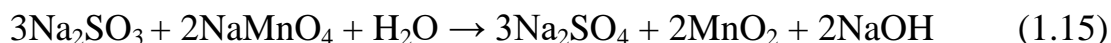


З концентрованою нітратною кислотою окиснюється до сульфату натрію та виділенням діоксиду азоту (1.14):



Сульфит натрію реагує з перманганатами в:

- нейтральному (1.15):



- кислому (1.16):



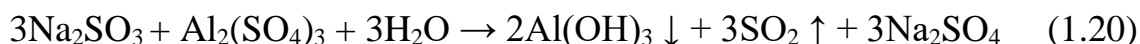
- лужному середовищі (1.17):



При взаємодії з галогенами окиснюється (1.18-1.19):



Гідроліз з алюмінієм сульфатом утворює нерозчинний гідроксид алюмінію, сірчистий ангідрид та сульфат натрію (1.20):



а при звичайному гідролізі сульфіту натрію спостерігається надлишок  $\text{OH}^-$  йонів (1.21) [2]:



## 1.2 Галузі використання

Сульфiт натрію  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  є важливою хiмiчною сполукою з широким спектром застосувань у рiзних галузях промисловостi. Його кориснi властивостi, такi як антиоксидантнi та вiдновлювальнi здiбностi, роблять його цiнним компонентом у багатьох технологiчних процесах. Виробляють сульфiт натрію у двох формах: семиводної та безводної солi [1].

Сульфiт натрію використовується в целюлозно-паперовiй промисловостi. Вiн також застосовувався в термомеханiчному перетвореннi деревини на волокна (дефiбрацiя) для виробництва деревноволокнистих плит середньої щiльностi (MDF) [3].

Як вiдновник вiн використовується в текстильнiй промисловостi як вiдбiлюючий, десульфуруючий та дехлорууючий агент (наприклад, у плавальних басейнах). Сульфiт натрію допомагає видалити небажанi кольоровi речовини з сировини, забезпечуючи високоякiсний кiнцевий продукт. Окрiм цього, вiн застосовується як поглинач кисню для очищення виробничого обладнання, забезпечуючи його ефективну роботу та запобiгаючи корозii [3, 4].

Сульфiт натрію ефективно видаляє залишковий хлор з води, що є важливим для промислових систем очищення води, акварiумiв i комунальних водопровiдних систем. Це допомагає запобiгти шкодi, яку може спричинити хлор, зокрема на живi органiзми та виробниче обладнання. Використовується у процесах очищення стiчних вод для нейтралiзацiї окислювачiв, що дозволяє зменшити шкiдливий вплив на навколишнє середовище [4].

У фотоiндустрiї сульфiт натрію захищає розчини проявника вiд окислення та (як гiпопрозорий розчин) для миття фiксатора (тiосульфату натрію) з плiвкових i фотопаперових емульсiй. А також використовується як фiксууючий агент, який допомагає стабiлізувати зображення, запобiгаючи подальшому освiтленню фотографiй [5].

Сульфiт натрію є важливим промiжним продуктом у виробництвi багатьох iнших хiмiчних речовин i реагентiв, зокрема барвникiв, скла, ультрамарину та iн.

Використовується як реагент для сульфування та сульфометилування. Застосовується у виробництві тіосульфату натрію. Процес Велмана-Лорда використовує сульфід натрію для десульфурації димових газів.

Сульфід натрію застосовується для очищення та збагачення руд кольорових металів, таких як мідь, свинець та молібден, а також вугілля. Крім того натрій сірчистоокислий застосовується для захисту рослин від хвороб, є ефективним засобом боротьби з бур'янами та входить до складу як гербіцидів, так і інсектицидів, і пестицидів [6].

У фармацевтичній галузі сульфід натрію застосовується як стабілізатор у деяких фармацевтичних препаратах для запобігання окисленню активних інгредієнтів, що забезпечує їх тривале зберігання та ефективність. Окрім цього, використовується в медицині для лікування різних захворювань, пов'язаних з травленням та запаленням [7].

Харчова добавка сульфід натрію (E221) - це консервант, що використовується для збереження свіжості та підвищення тривалості зберігання харчових продуктів. Сульфід натрію застосовується як відбілювач, відновник, холодоагент та антиоксидант у виробництві різних продуктів харчування, таких як фрукти, овочі, сушені продукти, соки, джеми, цукерки, сиропи та інші. Він має сильні антибактеріальні властивості, що дозволяє зберігати свіжість продуктів і запобігати їх псуванню. E221 додається в продукти харчування для збільшення їх терміну придатності та запобігання окисленню. Це особливо важливо для продуктів, які зберігаються тривалий час, таких як сухофрукти, картопляні продукти, напої, вино і сушені овочі. допомагає запобігти зміні кольору продуктів харчування, що є важливим для збереження їхнього товарного вигляду. Відновлювальні властивості цієї харчової добавки використовуються в якості консерванту для запобігання знебарвленню сухофруктів і для консервування м'яса.

Сульфід натрію міститься в ракоподібних, кишмишах, сухофруктах і вині. Останній містить обмежену кількість цієї речовини вже природним шляхом.

Також його використовують як поліпшувач хліба. Тим часом його більше не можна наносити на м'ясо, оскільки він маскує коричневий колір, спричинений бактеріальним псуванням.

В основному він використовується для контролю росту мікробів, запобігання потемнінню деяких фруктів і овочів, а також для стабілізації вин і деяких ферментованих продуктів. Крім того, E221 має унікальну здатність покращувати текстуру і колір їжі.

У сухофруктах він служить для запобігання їх окислення. Сульфіти природним чином містяться в нашому організмі, а також у таких продуктах, як яблука, рис, цибуля і капуста.

Добавка E221 широко застосовується у виробництві вин, сидру та пива, оскільки вона здатна запобігати окисленню та зберігати аромат та смак напоїв. Вона також використовується у виробництві сухофруктів, консервованих овочів та фруктів, морозива, соків, сирів, м'ясних виробів та багатьох інших продуктів. Особливо часто він зустрічається в білих винах і пиві, де використовується в якості стабілізатора. Також може бути використаний для зупинки бродіння у процесі виноробства.

Однією з основних переваг використання сульфіту натрію в харчових продуктах є його здатність запобігати розвитку мікроорганізмів, таких як бактерії та пліснява, що допомагає зберегти продукти свіжими та безпечними для вживання. Крім того, добавка E221 сприяє збереженню смакових та органолептичних характеристик продуктів, що робить їх більш привабливими для споживачів.

Однак слід зазначити, що сульфід натрію може викликати алергічні реакції у деяких людей, особливо у тих, хто страждає на астму або чутливість до сульфідів. Тому його використання у харчових продуктах регулюється законодавством, і виробники зобов'язані вказувати на упаковці наявність даної добавки та її вміст.

Незважаючи на свої переваги, добавка E221 також може бути пов'язана з здешевленням продуктів, оскільки вона дозволяє продовжити їх термін придатності та запобігти втраті якості. Це може бути важливим фактором для виробників, які прагнуть знизити витрати на виробництво та продаж продуктів [8].

У таблиці 1.2 наведено максимально допустимий рівень сульфіту натрію в продуктах харчування.

Таблиця 1.2

**Максимально допустимий вміст сульфіту натрію E221 в деяких продуктах в перерахунку на сірки двоокис SO<sub>2</sub>**

Найменування продукту	Вміст E221 в мг/кг, мг/л
Консерви фаршеві з скумбрії	100
Цукерки з фруктовими ягідними корпусами, карамель	20
Пастила, мармелад, желе, кондитерські вироби, фрукти глазуровані	100
Галети, печиво з тяжким	100
Фрукти сушені, що належать термічній обробці	1000
Ізюм	100
Капуста сушена	600
Картопля сушена	400
Картопля дегідратована гранульована	150
Картопля очищена (оброблення проти потемніння)	20 – в сирій, 2 – у вареній
Повидло, джем	20
Плодоягідні пюре, пульпи (напівфабрикати)	1000-2000 6
Сік виноградний десульфатований	50

Сік апельсиновий, грейпфрутовий, яблучний, ананасовий	170
Ферментаційний оцет	250
Гірчиця	200-210
Вино виноградне (кріплене, десертне, лікерне)	250-300
Вино виноградне столове (напівсухе, напівсолодке), шипуче	200
Вино плодоягідне, сидр	50
Желатин, крохмаль	50

### 1.3 Стан сировинної бази

На українському ринку сульфат натрію доступний як імпортований продукт, так і вироблений в Україні. У структурі споживання цього продукту на внутрішньому ринку домінує вітчизняний сульфат натрію. У всьому досліджуваному періоді частка імпортованого сульфату натрію не перевищувала 23%, тоді як 77% припадало на продукцію місцевого виробництва.

Українськими виробниками сульфату натрію є:

- "Укрхімпром" (м. Дніпро) - виробництво широкого спектру хімічних продуктів, включаючи сульфат натрію;
- "Дніпроазот" (м. Кам'янське) – завод виробляє азотні добрива, а також сульфат натрію як побічний продукт;
- "Одеський хімфармзавод" (м. Одеса) – підприємство займається виробництвом лікарських засобів, а також сульфат натрію як допоміжної речовини;
- "Кримський содовий завод" (м. Красноперекопськ) – завод виробляє соду, а також сульфат натрію як побічний продукт;
- "Слов'янський содовий завод" (м. Слов'янськ) – є одним із основних виробників різноманітних сполук натрію, зокрема сульфату натрію;

- "Черкаський хімічний завод" (м.Черкаси) – виробляє різні хімічні продукти, у тому числі сульфат натрію;
- "Сумхімпром" (м. Суми) – спеціалізується на виробництві різноманітних хімічних сполук і добрив, у тому числі сульфату натрію.

Одним з найбільших виробників у світі є BASF SE (Німеччина), Dow Chemical Company (США), DuPont (США), Solvay (Бельгія), Mitsui Chemicals (Японія), Jay Dinesh Chemicals (Індія), Penta Manufacturer Co., Ltd. (Китай). Ці компанії мають заводи по всьому світу, включаючи Європу, Північну Америку, Південну Америку, Азію та Африку [9].

#### **1.4 Аналіз існуючих технологій виробництва** ***Взаємодія $Na_2CO_3$ з $SO_2$***

Сульфат натрію зазвичай отримують шляхом взаємодії кальцинованої соди з діоксидом сірки у водному середовищі. Газ, що містить діоксид сірки, пропускають через водний розчин карбонату натрію з утворенням розчину бісульфату натрію, який потім нейтралізують шляхом додавання додаткового карбонату натрію або гідроксиду натрію з утворенням потрібного сульфату натрію. Коли для нейтралізації використовується карбонат натрію, розчин кип'ятять, щоб виділити вуглекислий газ. З нейтралізованого розчину шляхом кристалізації отримують сульфат натрію. Якщо кристалізація здійснюється при температурі нижче 35°C, утворюються кристали гептагідрату сульфату натрію ( $Na_2SO_4 \cdot 7H_2O$ ), який може бути перетворений у безводну форму при нагріванні вище 35°C. Приблизно при цій температурі гептагідрат плавиться інконгруентно, утворюючи безводний сульфат натрію та розчин.

Альтернативно, кристалізацію сульфату натрію з нейтралізованого розчину можна проводити при температурі вище 35°C шляхом випаровування води з розчину, наприклад, шляхом його кип'ятіння, у цьому випадку утворені кристали є безводним сульфатом натрію. Однак цей процес є двоетапним: утворення бісульфату натрію на першому етапі з подальшою його нейтралізацією з утворенням сульфату натрію на другому етапі. Способи одержання сульфату

натрію, що включають вищеописані реакції, були, наприклад, описані в патенті США No. № 1937944 Батлера; Пат. № 2080528 Боумана та ін.; Пат. № 2719075 Аллена; Пат. № 2899273 Мерфі; і пат. № 3361524 і 3216793 Спормана та ін. Ці патенти, як правило, стосуються способів отримання безводного сульфіту лужного металу відносно високого ступеня чистоти, тому включають певні подальші етапи очищення, які тут не мають значення.

З метою пояснення цього способу отримання сульфіту натрію зображено спрощену схематичну схему (рис.1.2) втілення цього винаходу, що показує безперервний процес отримання сульфіту натрію.

На початку роботи в газову ємність **1** подається насичений розчин сульфіту натрію. Важливо, щоб розчин містив менше приблизно 3 частин на мільйон розчиненого заліза в розрахунку на розчин.

Під час роботи варіанту здійснення, проілюстрованого рис.1.2, концентрований розчин сульфіту натрію в газовому резервуарі **1**, який практично не містить заліза (містить менше ніж приблизно 3 частки на мільйон розчиненого заліза в розрахунку на розчин), доводять до рН у діапазоні від 6,5 до 7,6, наприклад, шляхом додавання кальцинованої соди або гідроксиду натрію, якщо його рН нижче 6,5, або шляхом барботування через нього газу, що містить діоксид сірки, якщо його рН вище 7,6. Його нагрівають до температури вище 35°C за допомогою нагрівального обладнання. Кальцинована сода вводиться в газовий резервуар **1** через лінію подачі кальцинованої соди **5**, а газ, що містить діоксид сірки, барботується через розчин за допомогою барботера **3**. Інертні гази, такі як азот, які можуть бути введені разом з газом, що містить діоксид сірки, потік, а також вуглекислий газ, що утворюється в реакції між карбонатом натрію та діоксидом сірки відповідно до рівняння (1.22):



вентилюються з газового бака **1** через вентиляційний отвір **7**. Практично безводний карбонат натрію у формі легкої або щільної кальцинованої соди, і газ, що містить діоксид сірки, подають у газовий резервуар **1** у такому

співвідношенні один до одного, щоб підтримувати рН розчину в діапазоні від 6,5 до 7,6 протягом всієї операції.

Температуру в посудині під час газоутворення необхідно підтримувати вище 35°C. Зазвичай тепло реакції між кальцинованою содою та діоксидом сірки буде достатнім для підтримки температури на цьому рівні. Однак за певних обставин може бути необхідним або бажаним надавати тепло газовому баку 1 для підтримки температури вище приблизно 35°C.

U.S. Patent

Jan. 18, 1977

4,003,985

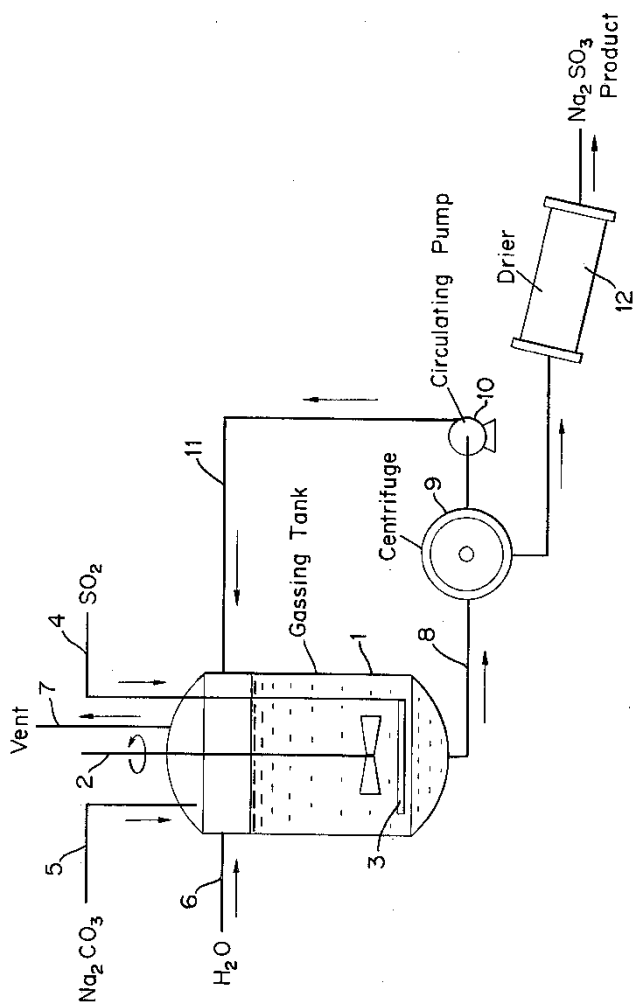


Рис.1.2 Апаратна схема безперервного виробництва сульфїту натрію

Коли кальцинована сода та діоксид сірки подаються до насиченого водного розчину сульфїту натрію в газовій ємності, безводний сульфїт натрію буде випадати в кристалічній формі, утворюючи суспензію кристалів сульфїту натрію в насиченому маточному розчині сульфїту натрію. Кристали утримуються в суспензії за допомогою мішалки **2**. Кристалічна суспензія виводиться з газового бака **1** через шламопровід **8** і подається на центрифугу **9**, де відбувається розділення рідкої і твердої фаз. Рідка фаза (маточний розчин сульфїту натрію) за допомогою циркуляційного насоса **10** повертається в газифікаційну ємність **1** через лінію повернення маточного розчину **11**. Кристали безводного сульфїту натрію, відокремлені в центрифугі **9**, можна, за бажанням, промити невеликою кількістю води для видалення налиплого маточного розчину, а потім висушити в сушарці **12** шляхом безпосереднього контакту з нагрітим повітрям для отримання сухого безводного продукту сульфїту натрію. Рівень розчину в системі підтримується постійним шляхом додавання води, за необхідності, через лінію подачі води **6** в резервуар для газування **1**, хоча воду можна також вводити в інші точки системи (не показані), якщо це необхідно [9].

Проте, здавалося б, простий метод є складним у виробництві та економічно не вигідним. Тому, розглянемо наступний спосіб отримання сульфїту натрію – так званий «мокрый» метод.

#### ***Взаємодія $NaHSO_3$ з $Na_2CO_3$***

"Мокрий" метод виробництва заснований на реакції між розчином натрій гідросульфїту та содою, що призводить до утворення сульфїту натрію. У цьому процесі відбувається кристалізація або семиводного ( $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ ), або безводного сульфїту з концентрованого розчину.

Сульфїт натрію безводний отримують шляхом кристалізації концентрованого розчину при температурі 95-100 °C або шляхом плавлення  $Na_2SO_3 \cdot 7H_2O$ . Під час плавлення утворюється мінімальна кількість маточного розчину. У цьому випадку утворюється кристалічна пульпа, яка витримується у

реакторі, нагрітому парою, протягом 30 хвилин для утворення більших кристалів. Потім температуру підвищують до 75-80 °С, оскільки при підвищенні температури розчинність  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  знижується, і отриману пульпу відправляють на центрифугу. Отриманий продукт висушують при 75-80 °С.

Проте цей метод не широко використовується через його складність: подвійна кристалізація, низька продуктивність реактора та періодичність процесу. Тому в промисловості найчастіше використовують метод кристалізації насиченого розчину, приготованого при температурі 35 °С для отримання безводного  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  [10]. Деталі цього процесу будуть розглянуті у другому розділі.

## РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Характеристика вихідної сировини

#### Кальцинована сода

Карбонат натрію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , також відомий сода кальцинована, є важливим промисловим продуктом, що широко використовується в різних галузях. У таблиці 2.1 наведено фізико-хімічні властивості кальцинованої соди.

Таблиця 2.1

#### Фізико-хімічні властивості карбонату натрію

Хімічна формула	$\text{Na}_2\text{CO}_3$
Молярна маса	105,99 г/моль
Зовнішній вигляд	Білий кристалічний порошок без запаху
Густина	2,53 г/см <sup>3</sup>
Температура плавлення	852 °С
Температура кипіння	1600 °С
Розчинність	Розчиняється у воді з утворенням слабколужного розчину; практично нерозчинний в етанолі
Гігроскопічність	Сильно гігроскопічний, легко поглинає вологу з повітря
Теплоємність	112,3 Дж/моль·К
Ентропія	135 Дж/моль·К
Ентальпія утворення	-1130,7 кДж/моль
Енергія Гіббса	-1044,4 кДж/моль

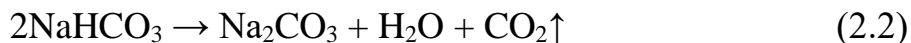
Кальциновану соду виробляють за допомогою декількох методів, найпоширенішим з яких є процес Сольве, що включає наступні етапи:

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ II ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.011.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 23/66

- взаємодія аміаку  $\text{NH}_3$ , вуглекислого газу  $\text{CO}_2$  та хлориду натрію  $\text{NaCl}$  з водою для утворення бікарбонату натрію  $\text{NaHCO}_3$  (2.1):



- термічне розкладання бікарбонату натрію при температурі 100–200 °C для отримання кальцинованої соди (2.2):



Карбонат натрію є одним з головних продуктів хімічної промисловості. У великих кількостях сода споживається скляною, миловарною, целюлозно-паперовою, текстильною, нафтовою і іншими галузями промисловості, а також служить для отримання різних солей натрію. Загальновідоме застосування соди в домашньому вжитку.

У скловиробництві використовується для зниження температури плавлення сировини, що зменшує енерговитрати. Для хімічної промисловості кальцинована сода служить вихідною речовиною для синтезу різних хімічних сполук, таких як фосфати, хлориди, сульфати тощо.

Застосовується для пом'якшення води, нейтралізації кислот та видалення важких металів. При виробництві мила використовується як лужний агент, що допомагає в розчиненні жирів і олій. У металургії карбонат натрію допомагає в процесах очищення та видалення домішок.

Кальцинована сода є безпечною для навколишнього середовища, оскільки вона не є токсичною і не має шкідливих ефектів при правильному використанні та утилізації. Однак, варто уникати її надмірного викиду у водні об'єкти, оскільки це може призвести до змін рН води.

Зберігають кальциновану соду в сухих, добре вентильованих приміщеннях, захищених від вологи, оскільки вона легко поглинає вологу з повітря і може злежуватися [11].

### **Натрій гідроксид**

Їдкий натр  $\text{NaOH}$ , також відомий як каустична сода, є потужним лугом, широко використовуваним у різних промислових і побутових застосуваннях.

У таблиці 2.2 описано його фізико-хімічні властивості.

Таблиця 2.2

### Фізико-хімічні властивості натрій гідроксиду

Хімічна формула	NaOH
Молярна маса	39,9971 г/моль
Зовнішній вигляд	Білі кристали або гранули без запаху
Густина	2,13 г/см <sup>3</sup>
Температура плавлення	318 °С
Температура кипіння	1390 °С
Розчинність	Дуже добре розчиняється у воді з виділенням значної кількості тепла (екзотермічна реакція), також розчиняється в етанолі і метанолі
Гігроскопічність	Сильно гігроскопічний, легко поглинає вологу і вуглекислий газ з повітря, утворюючи карбонат натрію Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Теплоємність	59,5 Дж/(моль·К)
Ентропія	64,4 Дж/(моль·К)
Ентальпія утворення	-425,8 кДж/моль
Енергія Гіббса	-379,7 кДж/моль

Натрій гідроксид виробляють переважно методом електролізу розчинів хлориду натрію NaCl у воді, що називається хлор-лужним процесом (2.3):



Каустична сода використовується як основний реагент для синтезу різних хімічних сполук, включаючи органічні та неорганічні хімікати. Його застосовують в процесах варіння целюлози та відбілювання паперу. В текстильній промисловості допомагає в обробці та фарбуванні тканин. Використовується у виробництві мила та мийних засобів завдяки своїм потужним лужним властивостям.

Інд. змін.

Дата видання  
15.05.2024

Мова  
ua

Аркуш  
25/66

Їдкий натр є реагентом для нейтралізації кислот та регулювання рН води, а також допомагає у видаленні важких металів та інших домішок з промислових стічних вод. У харчовій промисловості використовується для очищення обладнання, а також як регулятор кислотності і стабілізатор.

Натрій гідроксид є сильною корозійною речовиною, що може викликати серйозні хімічні опіки при контакті з шкірою або слизовими оболонками. Тому необхідно дотримуватися заходів безпеки при роботі з цією речовиною, включаючи використання захисного одягу та обладнання. Натрій гідроксид також може негативно впливати на водні об'єкти при потраплянні у великій кількості, тому важливо контролювати його утилізацію.

Натрій гідроксид слід зберігати в герметичних контейнерах, що захищають від вологи та вуглекислого газу, у прохолодних і сухих місцях [12].

### **Гідросульфід натрію**

Гідросульфід натрію (бісульфід натрію) є важливою хімічною сполукою, яка знаходить широке застосування в різних галузях промисловості завдяки своїм антиоксидантним та консервуючим властивостям. У таблиці 2.3 наведено опис властивостей бісульфіту натрію.

Таблиця 2.3

### **Фізико-хімічні властивості натрій гідросульфіту**

Хімічна формула	NaHSO <sub>3</sub>
Молярна маса	104,061 г/моль
Зовнішній вигляд	Білий або жовтуватий кристалічний порошок, має легкий запах сірки
Густина	1,48 г/см <sup>3</sup>
Температура плавлення	150 °С
Температура кипіння	315 °С
Розчинність	Добре розчиняється у воді, утворюючи кислий розчин, 42 г/100 мл

Гідросульфід натрію отримують за допомогою реакції діоксиду сірки SO<sub>2</sub> з гідроксидом натрію NaOH (2.4) або карбонатом натрію Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (2.5):



Бісульфід натрію має різні галузі використання, зокрема в харчовій промисловості його застосовують у вигляді харчової добавки E222 як консервант та антиоксидант. Забезпечує збереження кольору та запобігає окисленню продуктів. У текстильній виробництві – для відбілювання текстильних волокон і як відновлювальний агент. Застосовується для відбілювання паперової маси та як фіксатор у процесах проявлення фотоплівок. Окрім того, є реагентом для видалення хлору та інших окислювачів з води.

Гідросульфід натрію є потужним антиоксидантом, але може бути небезпечним при неправильному використанні. Він здатний виділяти токсичні гази SO<sub>2</sub> при розкладі, тому необхідно дотримуватись належних заходів безпеки, таких як використання захисного обладнання і зберігання в герметичних контейнерах.

Натрій бісульфід повинен зберігатися в сухих, прохолодних місцях, подалі від джерел тепла та вологи. На повітрі під дією вологи і кисню поступово розкладається, виділяючи діоксид сірки SO<sub>2</sub>. Потребує зберігання в герметичних контейнерах для запобігання розкладу [13].

## 2.2 Опис принципово технологічної схеми виробництва

Технологія отримання натрій сульфіту обраним методом (рис.2.1) складається з таких основних процесів:

- приготування сульфідного розчину;
- вилуговування отриманого розчину від важких металів (домішок заліза);
- відстоювання;
- випарювання зайвої вологи;
- кристалізація сульфіту натрію;
- центрифугування;

- сушка вологих кристалів;
- фасування готової продукції.

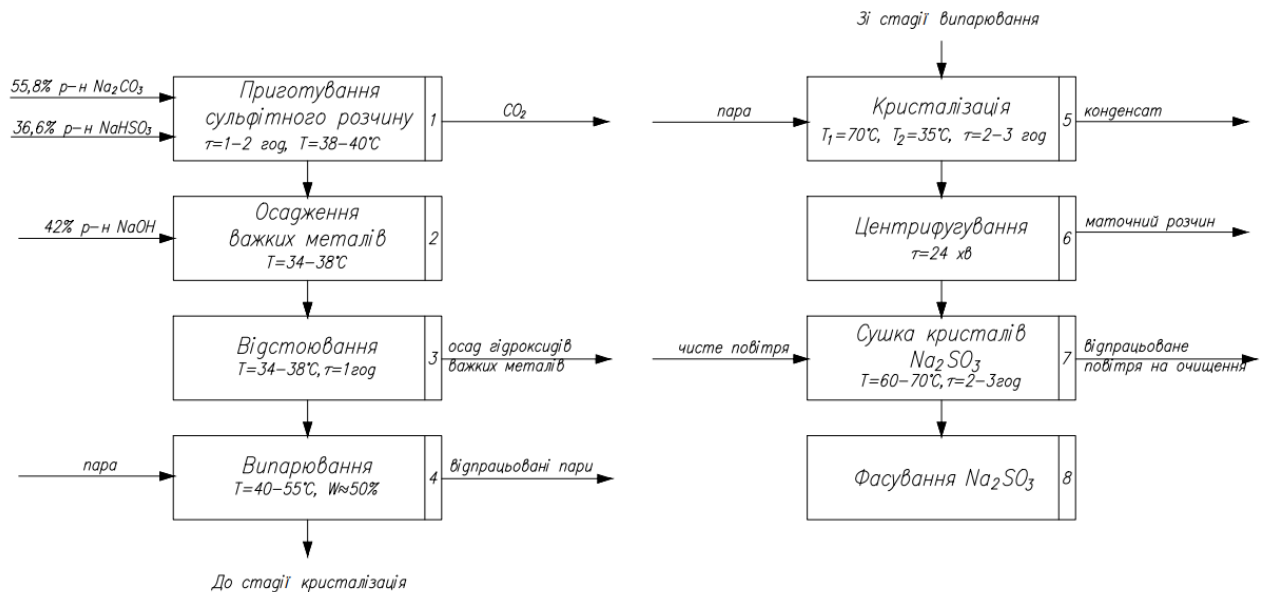
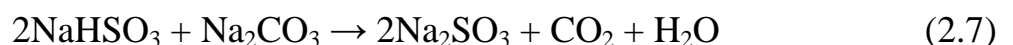


Рис. 2.1 Принципово технологічна схема отримання сульфіту натрію

На початковій стадії необхідно підготувати 55,8%-й розчин кальцинованої соди та 36,6%-й розчин гідросульфіту натрію, температура розчинів повинна бути в межах 35-45°C. Приготування сульфит-гідросульфитного розчину відбувається в кислому середовищі, шляхом додавання розчину натрій карбонату до бісульфату натрію. У випадку, якщо до розчину кальцинованої соди додавати гідросульфитний розчин, буде утворюватися гідрокарбонат натрію та випадати у осад (2.6), порушуючи нормальний перебіг основної реакції (2.7) та збільшуючи витрати розчину карбонату натрію.



У реактор наливають 36,6%-й розчин гідросульфіту натрію, вмикають механічну мішалку й протягом 1,5-2 год поступово додають розчин кальцинованої соди. Так як реакція відбувається в слабкокислому середовищі, відбувається реакція нейтралізації при якій виділяється тепло, що підігріває розчин. За необхідності утворений розчин охолоджують і підтримують

температуру в діапазоні 38-40°C. Новоутворений розчин перемішують ще близько 15 хв, щоб якомога більше видалити розчиненого вуглекислого газу, а потім дають 1 год відстоятись, щоб всі нерозчинні домішки осіли на дно.

Так як гідросульфід та карбонат натрію містять в незначних кількостях оксиди металів, що заважають отримати кінцевий продукт високої якості, домішки очищають реакцією з 42%-м натрій гідроксидом. Оптимальна температура задля нейтралізації кислотності і осадження домішок має бути в межах 34-38°C.

Після завершення процесу очищення беруть пробу з реактора для визначення концентрації вільного лугу в реакційній масі. Для правильного дозування гідроксиду натрію його концентрація повинна бути в межах 25-28 г/л. Якщо показник лужності нижчий, це свідчить про недостатню кількість доданого їдкового натру. У разі підтвердження позитивних результатів аналізу, вмикають мішалку та направляють розчин до відстійника.

На етапі відстоювання розчин залишають у відстійнику на 30-60 хвилин. Різні домішки, що виділяються з розчину, осідають на дні апарату, а сам розчин стає прозорим. Важливо перевірити прозорість розчину в нижній частині реактора. Для цього трохи відкривають спусковий кран (на чверть оберту) і беруть пробу розчину. Якщо проба виявляється мутною, відстоювання продовжуються. Прозорий розчин за допомогою насоса перекачують до випарного апарату.

Процес випарювання заключається в підвищенні концентрації сульфідного розчину перед кристалізацією. Розчин, що надходить до випарного апарату має концентрацію приблизно 24%, а опісля випарювання – до 50% основної речовини. Процес відбувається за температури 40-55°C.

Наступною стадією є кристалізація. Освітлений розчин потрапляє в кристалізатор, вмикається механічна мішалка й через змієвик подається пара для того, щоб нагріти розчин до 95-100°C. За такої температури починають утворюватися безводні кристали сульфату натрію. Процес кристалізації триває 2-

3 год. Після закінчення вимикається механічна мішалка, подача пари перекривається і отримана суспензія відстоюється приблизно 15-20 хв. Потім маточний розчин зливається, а вологі кристали направляють до сушарки.

Орієнтовна вологість новоутворених кристалів сульфиту натрію становить 31%, а після сушки – 0,4%. Сушка кристалів відбувається за рахунок подачі чистого гарячого повітря по дні сушарки й триває орієнтовно 4-5 год. Відпрацьоване повітря направляється на викид в атмосферу. Утворені сухі кристали сульфиту натрію фасують у мішки тарністю 25, 500 та 1000 кг.

### 2.3 Розрахунок матеріального балансу

Матеріальний баланс процесу виробництва сульфиту натрію виконується за законом: маса вихідних продуктів процесу дорівнює масі його кінцевих продуктів згідно з формулою (2.8).

$$\Sigma G_{\text{вихідні}} = \Sigma G_{\text{кінцеві}} \quad (2.8)$$

де  $\Sigma G_{\text{вихідні}}$  - сума мас вихідних продуктів виробництва;

$\Sigma G_{\text{кінцеві}}$  - сума мас кінцевих продуктів процесу [14].

Витрати на кожній стадії становлять 1-2 %.

Таблиця 2.4

### Матеріальний баланс стадії приготування сульфітного розчину

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) 55,8%-й розчин кальцинованої соди:	371,4	1) Сульфит-гідросульфитний розчин	3234,7
- кальцинована сода	207,2	2) Бісульфіт натрію	16,5
- вода	164,2		
2) 36,6%-й розчин бісульфіту натрію:	3005,1	3) Вуглекислий газ	57,8
- бісульфіт натрію	1099,9	4) Втрати	67,5
- вода	1905,2		
Всього	3376,5	Всього	3376,5

Таблиця 2.5

**Матеріальний баланс стадії осадження важких металів**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Сульфит-гідросульфитний розчин	3234,7	1) Розчин сульфіту натрію	3322,4
2) 42%-й розчин NaOH	138,3	2) Втрати	50,6
- їдкий натр	58,1		
- вода	80,2		
Всього	3373	Всього	3373

Таблиця 2.6

**Матеріальний баланс стадії відстоювання**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Розчин сульфіту натрію	3322,4	1) Освітлений розчин	3172,9
		2) Осад	99,7
		3) Втрати	49,8
Всього	3322,4	Всього	3322,4

Таблиця 2.7

**Матеріальний баланс стадії випарювання**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Освітлений розчин	3172,9	1) Концентрований розчин	1523
		2) Випарений розчинник	1586,4
		3) Втрати	63,5
Всього	3172,9	Всього	3172,9

Інд. змін.

Дата видання  
15.05.2024Мова  
uaАркуш  
31/66

Таблиця 2.8

**Матеріальний баланс стадії кристалізації**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Концентрований розчин	1523	1) Суспензія сульфату натрію	1492,5
		2) Втрати	30,5
Всього	1523	Всього	1523

Таблиця 2.9

**Матеріальний баланс стадії центрифугування**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Суспензія сульфату натрію	1492,5	1) Вологі кристали $\text{Na}_2\text{SO}_3$	298,5
		2) Маточний розчин	1164,2
		3) Втрати	29,8
Всього	1492,5	Всього	1492,5

Таблиця 2.10

**Матеріальний баланс стадії сушіння кристалів**

Прихід		Витрати	
Речовина	Маса, кг	Речовина	Маса, кг
1) Вологі кристали $\text{Na}_2\text{SO}_3$	298,5	1) Висушені кристали $\text{Na}_2\text{SO}_3$	200
		2) Випарувана вода	92,5
		3) Втрата $\text{Na}_2\text{SO}_3$ в процесі сушки	6
Всього	298,5	Всього	298,5

## 2.4 Розрахунок та підбір основного технологічного обладнання

Для виробництва безводного сульфїту натрію потрібне наступне обладнання: реактор, відстійник з гребковою мішалкою, випарний апарат, гвинтовий насос, кристалізатор, відцентрові та шестерні насоси, інжектор, калорифер, розпилювальна сушарка, циклони, скруббер, витяжний вентилятор, шнековий дозатор, додаткові збірники та ємності.

### *Розрахунок розпилювальної сушарки*

Вихідні дані:

- Продуктивність  $W$ , кг/год випарної вологи – 91,7;
- Початкова вологість продукту  $w_1$ , % - 31;
- Кінцева вологість продукту  $w_2$ , % - 0,4.

Згідно матеріального балансу сухих речовин можна визначити продуктивність сушарки та кількості вологи, що видаляється.

Продуктивність сушарки  $G_2$  кг/ год, по висушеному матеріалу за відомої початкової маси матеріалу  $G_1$  кг/год, розраховують за формулою [15]:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2}$$

По сирому матеріалу:

$$G_1 = G_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1}$$

Розрахунок продуктивності:

$$G_2 = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} = 298,5 \frac{100 - 31}{100 - 0,4} = 206,8 \text{ кг/год}$$

$$G_1 = G_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1} = 206,8 \frac{100 - 0,4}{100 - 31} = 298,5 \text{ кг/год}$$

Кількість випаруваної води розраховують за такими формулами:

$$W = G_1 - G_2$$

$$W = G_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}$$

$$W = G_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}$$

Розрахунок кількості видаленої вологи:

$$W = G_1 - G_2 = 298,5 - 206,8 = 91,7 \text{ кг/год} - \text{продуктивність сушарки}$$

$$W = G_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} = 298,5 \frac{31 - 0,4}{100 - 0,4} = 91,7 \text{ кг/год}$$

$$W = G_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} = 206,8 \frac{31 - 0,4}{100 - 31} = 91,7 \text{ кг/год}$$

*Розрахунок основних параметрів вологого повітря*

Необхідно знати основні параметри вологого повітря: температуру  $t$ , відносну вологість  $\varphi$ , питомий вологовміст  $x$ , ентальпію  $I$  задля підтримання визначеного режиму сушіння. Питомий вологовміст повітря розраховують за формулою:

$$x = 0,622 \frac{\varphi \times P_H}{B - \varphi \times P_H}$$

де 0,622 – відношення мольних мас водяної пари і повітря;

$P_H$  – тиск водяної пари за певної температури повітря, Па;

$B$  – барометричний тиск повітря, Па ( 99,1 кПа)

$$x = 0,622 \frac{\varphi \times P_H}{B - \varphi \times P_H} = 0,622 \frac{0,7 \times 2,1}{99,1 - 0,7 \times 2,1} = 0,009 \text{ кДж/кг}$$

$$x_2 = 0,622 \frac{0,2 \times 31,1}{99,1 - 0,2 \times 31,1} = 0,041 \text{ кДж/кг}$$

Розрахунок питомої ентальпії перегрітої пари  $i_n$  проводять за формулою:

$$i_n = r_0 + C_n \times t$$

де  $r_0$  – питома теплота пароутворення води, кДж/кг,

$C_{п}$  – середня питома теплоємність водяної пари, кДж / (кг \*К).

$$i_{п} = r_0 + C_{п} \times t = 2452 + 4,181 \times 18 = 2527,3 \text{ кДж/кг}$$

$$i_{п2} = r_0 + C_{п} \times t = 2333 + 4,188 \times 70 = 2626,2 \text{ кДж/кг}$$

Ентальпію вологого повітря визначають так:

$$I = C_{с.п} \times t + x \times i_{п}$$

де  $C_{с.п}$  - середня питома теплоємність сухого повітря кДж / (кг\* К) ( при температурі  $< 200^{\circ}$   $C_{с.п} = 1,004$  кДж/ (кг\* К);

$t$  – температура вологого повітря,

$x$  – питомий вологовміст повітря, кг/кг;

$i_{п}$  – питома ентальпія перегрітої пари, кДж/кг.

$$I = C_{с.п} \times t + x \times i_{п} = 1,004 \times 18 + 0,009 \times 2527,2 = 40,8 \text{ кДж/кг}$$

$$I_2 = C_{с.п} \times t + x \times i_{п2} = 1,004 \times 70 + 0,041 \times 2621,2 = 177,7 \text{ кДж/кг}$$

*Розрахунок витрат повітря в сушарці*

Так як під час процесу сушіння повітря поглинає з висушуваного матеріалу вологу і виходить із сушильної камери, при цьому вологовміст повітря збільшується від початкового  $x_0 = x_1$  до стану  $x_2$  . Згідно даного рівняння матеріального балансу вологи можна розрахувати витрати абсолютно сухого повітря  $L$  у сушарці:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}$$

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1} = \frac{91,7}{0,041 - 0,009} = 2865,6 \text{ кг/год}$$

Питому витрату абсолютно сухого повітря  $l$ , тобто к-сть повітря, витраченого на випаровування 1 кг вологи, розраховують за формулою:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1}$$

$$l = \frac{L}{W} = \frac{2865,6}{91,7} = 31,25 \text{ кг/год}$$

Розрахунок об'ємної витрати вологого повітря:

$$V = L \times v_{\text{п}}$$

де  $v_{\text{п}}$  – питомий об'єм вологого повітря, що припадає на 1 кг абсолютно сухого повітря, м<sup>3</sup>/кг;

$$v_{\text{п}} = \frac{R_{\text{п}} \times T}{B - \varphi \times P_{\text{H}}}$$

де  $R_{\text{п}}$  - газова стала, Дж/ (кг× К), (для повітря  $R_{\text{п}} = 287$  Дж/ (кг ×К),

$T$  – абсолютна температура повітря, К.

$$v_{\text{п}} = \frac{R_{\text{п}} \times T}{B - \varphi \times P_{\text{H}}} = \frac{0,287 \times 291}{99,1 - 0,7 \times 21} = 0,86 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$V = L \times v_{\text{п}} = 2865,6 \times 0,86 = 2464,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

*Геометричний розрахунок сушильної камери*

Визначаємо об'єм сушильної камери, взявши напруження об'єму сушарки по волозі,  $A = 4$ .

$$V_k = \frac{W}{A}$$

$$V_k = \frac{W}{A} = \frac{91,7}{4} = 22,9 \text{ м}^3$$

Переріз сушильної камери :

$$F_k = \frac{V}{3600 \times v} = \frac{2464,4}{3600 \times 0,12} = 5,7 \text{ м}^2$$

де  $v$  - задана швидкість повітря в сушильній камері, м/с (зазвичай  $v = 0,2$ .  
.0,5 м/с)

Швидкість повітря визначається за емпіричною формулою:

$$v = 0,0127 \times \sqrt{W} = 0,0127 \times \sqrt{91,7} = 0,12 \text{ м/с}$$

Тоді діаметр камери дорівнює:

$$D_k = \sqrt{\frac{4F_k}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 5,7}{3,14}} = 2,7 \text{ м}$$

Розрахунок висоти сушильної камери:

$$H_k = \frac{V_k}{\frac{\pi}{4} D_k^2} = \frac{22,9 \times 4}{3,14 \times 2,7^2} = 4 \text{ м}$$

Висота конічної частини:

$$H_{\text{кон}} = 0,4 \times H_k = 0,4 \times 4 = 1,6 \text{ м}$$

Висота циліндру сушильної камери:

$$H_{\text{ц}} = H_k - H_{\text{кон}} = 4 - 1,6 = 2,4 \text{ м}$$

На рисунку 2.2 зображено накреслений загальний вид розпилювальної сушарки, що відповідає наведеним вище розрахункам.

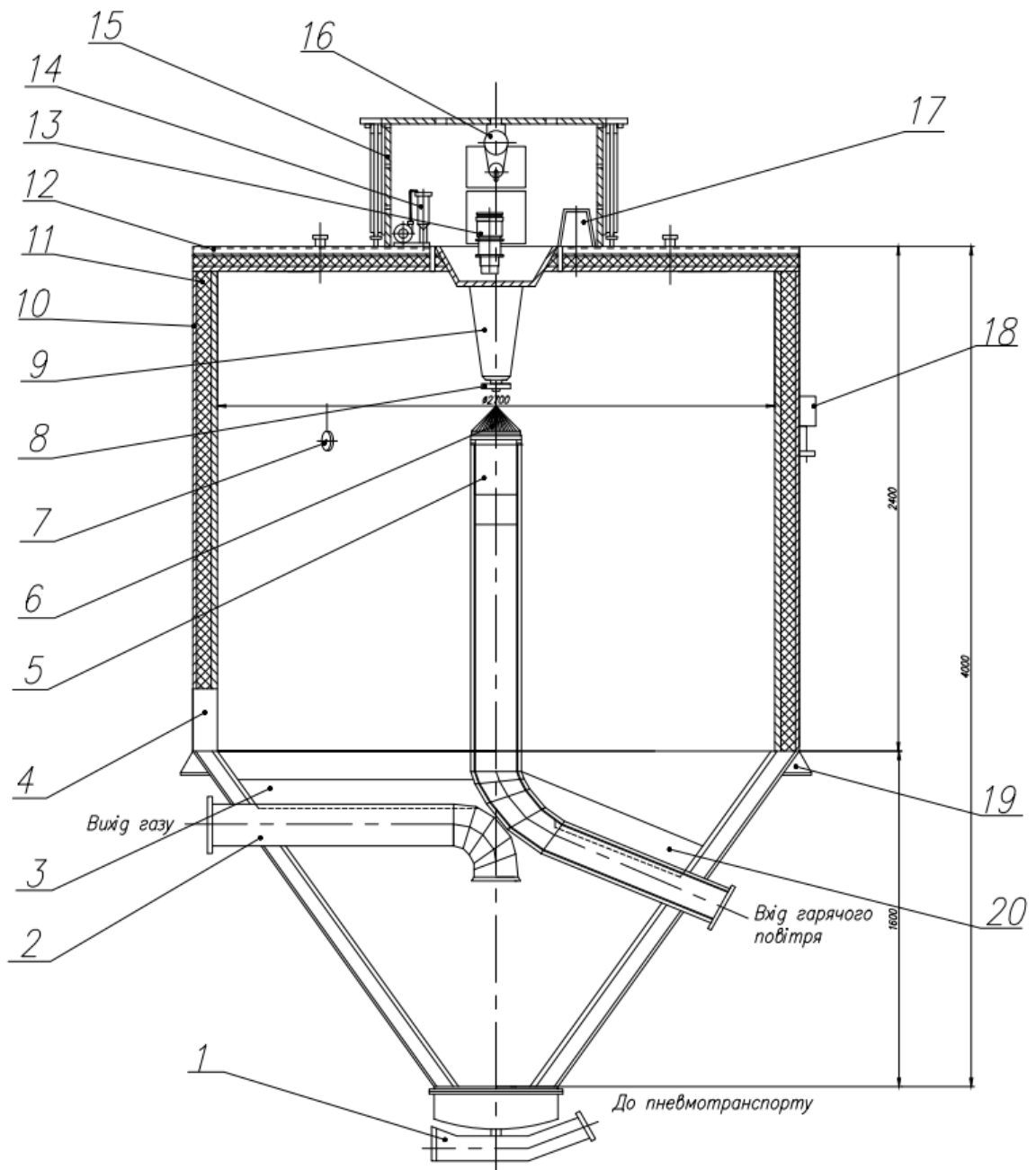


Рис.2.2 Розпилювальна сушарка

Реактори ємнісного типу, оснащені механічними перемішуючими системами, можуть бути виконані у вертикальному або горизонтальному варіанті. У нашій ситуації використовується вертикальний тип. Цей реактор (рис. 2.3) являє собою циліндричний апарат із якірною мішалкою.

Конструкція реактора включає патрубки для подачі гідросульфїту натрію та карбонату натрію, а також для виведення вуглекислого газу.



Рис.2.3 Ємнісний реактор з якірною мішалкою

Відстійник з гребковою мішалкою (рис.2.4) використовується для розділення рідин і твердих часток у виробничих процесах, зокрема у хімічній промисловості. Цей апарат складається з вертикальної ємності, обладнаної механічною гребковою мішалкою, яка повільно переміщує суспензію, сприяючи осадженню твердих часток на дні резервуару. Гребкова мішалка забезпечує рівномірний розподіл рідини і запобігає утворенню великих згустків.

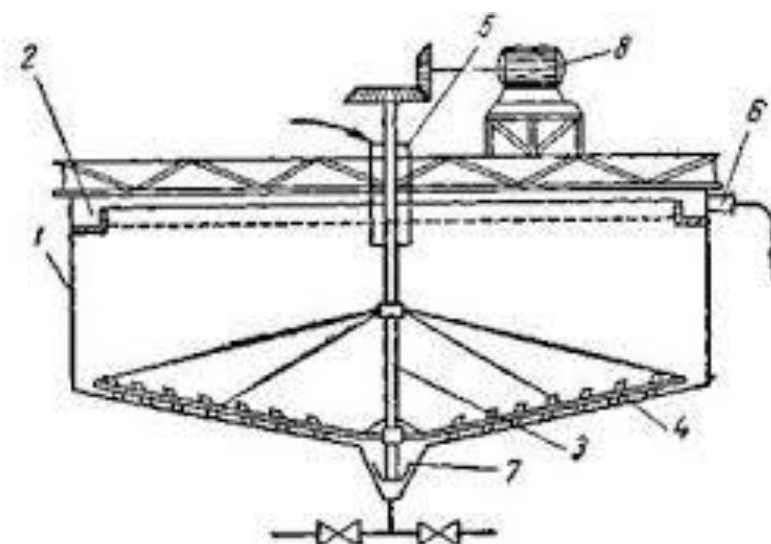


Рис.2.4 Відстійник з гребковою мішалкою

Основні функції відстійника включають очищення рідин від механічних домішок та забезпечення якісної фільтрації перед подальшими стадіями обробки. Завдяки своєму дизайну, відстійник дозволяє ефективно відокремлювати твердий осад від рідини, що є важливим для підтримки якості продукції та запобігання забрудненню обладнання.

Випарний апарат (рис.2.5) є важливим елементом технологічного процесу у хімічній та харчовій промисловості, де необхідно концентрувати розчини або видаляти воду з рідких сумішей. Цей апарат функціонує за принципом випаровування, де розчин нагрівається до температури кипіння, а утворена пара відводиться, залишаючи за собою більш концентрований розчин. Випарні апарати можуть бути одно- або багатокорпусними, що дозволяє підвищувати ефективність процесу за рахунок багаторазового використання тепла.

Основні характеристики випарних апаратів включають продуктивність, яка вимірюється в кілограмах випареної води на годину, та робочу температуру, яка залежить від властивостей розчину і може варіюватися в широких межах. Також важливими параметрами є тиск у системі та тип нагрівального елемента. Випарні апарати широко використовуються для виробництва концентрованих соків, сиропів, молочних продуктів, а також у процесах хімічної промисловості для концентрування різних розчинів та видалення розчинників.

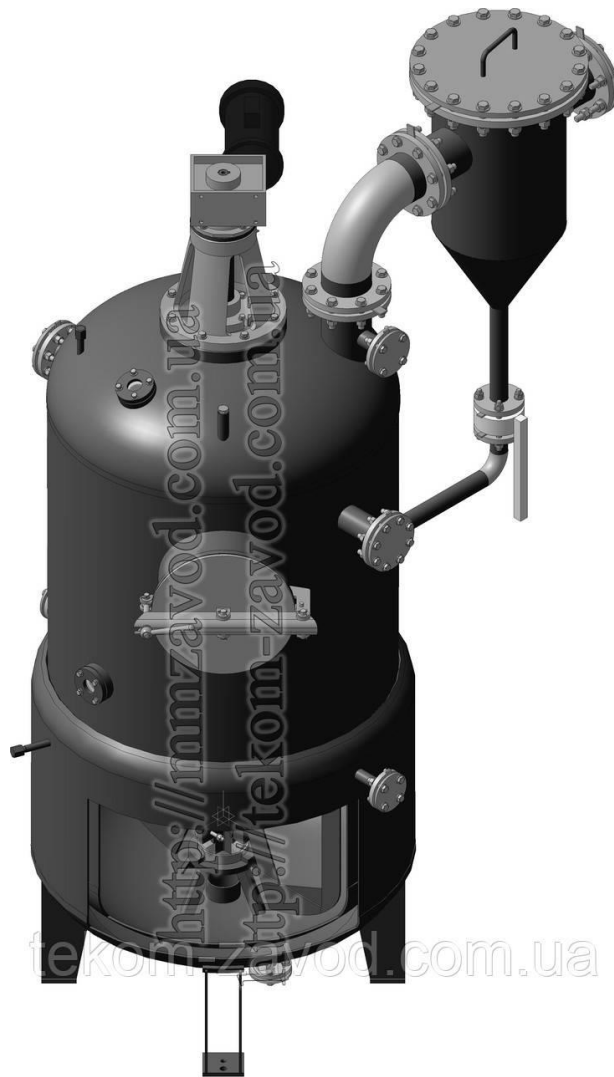


Рис. 2.5 Випарний апарат

Вертикальний кристалізатор (рис.2.6) є основним обладнанням, яке використовується для отримання кристалів з розчинів у хімічній та харчовій промисловості. Він являє собою вертикальний циліндричний апарат, де відбувається процес кристалізації шляхом охолодження або випаровування розчину. Основною перевагою вертикального кристалізатора є те, що він забезпечує рівномірне розподілення тепла та ефективне видалення тепла з системи, що сприяє формуванню однорідних та високоякісних кристалів.

Важливими технічними характеристиками вертикального кристалізатора є його продуктивність, яка залежить від об'єму апарату та швидкості кристалізації, температура і тиск у системі, а також матеріали, з яких виготовлений апарат, оскільки вони повинні бути стійкими до корозії та впливу агресивних хімічних речовин. Вертикальні кристалізатори широко застосовуються у виробництві

цукру, солей, кислот та інших хімічних продуктів, де необхідно отримати чисті та однорідні кристали.



Рис.2.6 Вертикальний кристалізатор

Фільтруюча підвісна центрифуга з ножовою вивізкою (рис.2.7) є спеціалізованим обладнанням, призначеним для розділення твердих та рідких фаз у промислових процесах. Цей тип центрифуги відрізняється високою ефективністю фільтрації завдяки використанню ножового механізму для видалення осаду. У фільтруючій підвісній центрифугі твердий осад накопичується на фільтруючій поверхні, а рідина проходить через фільтр і відводиться з апарату.

Основними технічними характеристиками фільтруючої підвісної центрифуги з ножовою вивізкою є її продуктивність, яка визначається кількістю обробленої суспензії за одиницю часу, швидкість обертання барабана, що впливає на ступінь розділення фаз, та тип ножового механізму, що забезпечує ефективне видалення твердого осаду. Такі центрифуги широко використовуються у хімічній, фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості для забезпечення високої якості продукту та підвищення ефективності виробничих процесів.

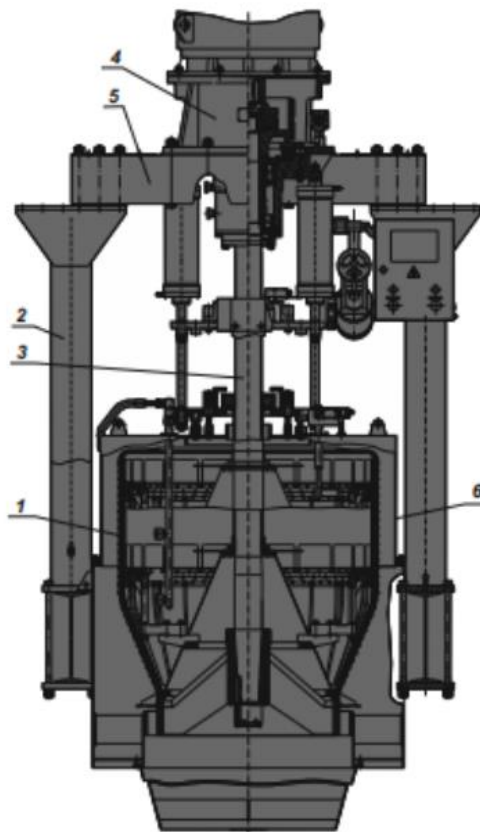


Рис. 2.7 Фільтруюча підвісна центрифуга з ножовою вивізкою

У таблиці 2.11 наведена характеристика кожного обладнання, необхідного для виробництва безводного сульфіту натрію.

Таблиця 2.11

**Обладнання для виробництва сульфіту натрію**

Назва	Призначення	Характеристика
1	2	3
Відцентрові насоси	Транспортування рідин	Продуктивність: 1-1000 м <sup>3</sup> /год. Напір: від 10 до 200 м. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або чавун Робоча температура: до 200°С

1	2	3
Шестерні насоси	Подача в'язких рідин і розчинів	Продуктивність: від 0,5 до 500 м <sup>3</sup> /год. Робочий тиск: до 40 бар. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Робоча температура: до 150°C.
Гвинтовий насос	Перекачування в'язких або абразивних рідин	Продуктивність: 0,5 до 300 м <sup>3</sup> /год. Робочий тиск: до 100 бар. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Робоча температура: до 200°C.
Реактор з якірною мішалкою	Проведення хімічної реакції	Об'єм: від 100 до 10,000 літрів. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або склоемаль. Робоча температура: до 300°C. Тиск: від вакууму до 100 бар.
Відстійник з гребковою мішалкою	Розділення розчину сульфату натрію від осаджених металів	Об'єм: від 500 до 5000 літрів. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Робоча температура: до 100°C. Мішалка: гребкова, з регульованою швидкістю обертання.
Кристалізатор	Отримання кристалів з розчину	Об'єм: від 100 до 5000 літрів. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або склоемаль. Робоча температура: до 100°C. Метод кристалізації: випаровування.
Інжектор	Введення газоподібних реагентів у рідкий потік	Продуктивність: від 1 до 500 м <sup>3</sup> /год. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Робоча температура: до 200°C. Тиск: до 20 бар.

1	2	3
Калорифер	Підігрів повітря для сушіння	Продуктивність: 5-100 кВт. Робоча температура: до 100°C. Матеріал теплообмінника: мідь або алюміній.
Випарний апарат	Концентрація розчинів	Продуктивність: 3-4000 л/год Робоча температура: від 20°C до 150°C. Матеріал конструкції: нержавіюча сталь
Розпилювальна сушарка	Сушіння вологих кристалів	Продуктивність: від 50 до 5000 кг/год. Робоча температура: до 300°C. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Метод сушіння: розпилювання рідини в гарячий газовий потік.
Циклони	Очищення газів від твердих частинок	Продуктивність: від 100 до 10,000 м <sup>3</sup> /год. Ефективність: до 99%. Матеріал корпусу: сталь з антикорозійним покриттям. Робоча температура: до 500°C.
Скрубер Вентурі	Очищення газів від шкідливих домішок	Продуктивність: від 100 до 10,000 м <sup>3</sup> /год. Ефективність: до 99%. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або поліпропілен. Робоча температура: до 150°C.
Шнековий дозатор	Точне дозування твердих речовин	Продуктивність: від 0,1 до 100 кг/год. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Точність дозування: до 0,1%

1	2	3
Витяжний вентилятор	Видалення газів із технологічних апаратів	Продуктивність: від 500 до 50000 м <sup>3</sup> /год. Тиск: до 1000 Па. Матеріал корпусу: сталь з антикорозійним покриттям. Робоча температура: до 200°C.
Додаткові збірники та ємності	Зберігання сировини, напівпродуктів та готової продукції	Об'єм: від 100 до 10,000 літрів. Матеріал корпусу: нержавіюча сталь або поліетилен. Робоча температура: до 150°C.

## 2.5 Опис апаратурно-технологічної схеми

Натрій гідросульфід з концентрацією 36,6%, що знаходиться у збірнику **1**, подають в реактор **5**, вмикають механічну мішалку й протягом 1,5-2 год поступово додають 55,8%-й розчин кальцинованої соди. Подача реагентів відбувається через відцентрові насоси **2**, **4**. Вуглекислий газ, що утворюється під час реакції, викидається в атмосферу. Новоутворений розчин перемішують ще близько 15 хв, щоб якомога більше видалити розчиненого вуглекислого газу, а потім дають 1 год відстоятись, щоб всі нерозчинні домішки осіли на дно. Наступним процесом є осадження важких металів. Відбувається моніторинг рН та температури утвореної суміші. Опісля в реактор **5** подається натрій гідроксид зі збірника **7**, щоб відбулася реакція нейтралізації між ним та непрореагованим натрій гідросульфідом, а також задля створення слаболужного середовища. Після завершення процесу очищення беруть пробу з реактора для визначення концентрації вільного луку в реакційній масі. Для правильного дозування гідроксиду натрію його концентрація повинна бути в межах 25-28 г/л. Якщо показник лужності нижчий, це свідчить про недостатню кількість доданого

їдкого натру. У разі підтвердження позитивних результатів аналізу, вимикають мішалку та направляють розчин до відстійника з гребковою мішалкою **8**. Відстоювання розчину відбувається протягом 1-2 год, доки гідроксиди металів не випадуть в осад, а сульфідний розчин не стане освітленим або прозорим.

Прозорий сульфідний розчин через відцентровий насос **9** направляють у випарний апарат **10**. Процес випарювання заключається в підвищенні концентрації сульфідного розчину перед кристалізацією. Розчин, що надходить до випарного апарату має концентрацію приблизно 24%, а опісля випарювання – до 50% основної речовини. Процес відбувається за температури 40-55°C.

Вже концентрований розчин через гвинтовий насос **11** подають до кристалізатора **12**. Вмикається механічна мішалка й протягом 2-3 год триває процес кристалізації. Ця стадія проходить за умови підігрівання розчину до 95-100 °C, тобто через змієвик подається пара, що дозволяє підтримувати задану температуру. Після закінчення вимикається механічна мішалка, подача пари перекривається і отримана суспензія відстоюється приблизно 15-20 хв. Потім цю ж суспензію направляють за допомогою шестирінчастого насоса **13** до центрифуги **16**. Маточний розчин подається в збірник **14** через відцентровий насос **15**, а вологі кристали направляють за допомогою шестирінчастого насоса **18** до розпилювальної сушарки **20**. Повітря, необхідне для сушки кристалів нагрівають за допомогою калорифера **19**. Потім кристали осушуються в циклонах **21**, **22** та подаються до шнекового дозатора **25**. Відпрацьоване повітря після сушки передають через витяжний вентилятор **23** і очищують скруббером Вентурі **24**. Кінцевий продукт – сухі кристали безводного сульфідру натрію фасують в мішки тарністю 25, 500 та 1000 кг. На рисунку 2.8 зображена апаратурно-технологічна схема виробництва сульфідру натрію [16, 17].



## РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Виробничі витрати охоплюють усі затрати на виробничі фактори, що використовуються для виготовлення певного об'єму продукції. Структура собівартості продукції включає такі складові:

- витрати на сировину та матеріали;
- витрати на заробітну плату працівників;
- експлуатаційні витрати на приміщення та обладнання;
- витрати на соціальні програми.

1. Для виробництва будь-якого товару слід враховувати витрати на придбання сировини та матеріалів, які поділяються на дві групи:

- прямі – основні витрати на сировину, які можна чітко відстежити та розрахувати, наприклад, закупівля сировини;
- непрямі – витрати на допоміжні матеріали, які важко точно визначити кількісно.

2. Витрати на персонал включають:

- прямі – заробітна плата та надбавки для працівників, безпосередньо залучених у виробничий процес, таких як оператори машин, технічний персонал та лаборанти.
- непрямі – оплата праці співробітників, що забезпечують підтримку виробничого процесу, включаючи кадрову службу, адміністрацію, витрати на маркетинг та управлінський персонал.

3. Витрати на будівлі та обладнання охоплюють кошти, вкладені в утримання виробничих площ, складських та офісних приміщень. Вони включають витрати на оплату комунальних послуг, амортизацію, технічне обслуговування та оновлення обладнання.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ ІІІ ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.015.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 49/66

4. Витрати на соціальні потреби включають усі форми соціальних виплат, які здійснює компанія, зокрема внески до пенсійного фонду, медичне страхування та сплату податків [18].

### 3.1 Розрахунок потреби у сировині

Таблиця 3.1

#### Основні сировинні витрати

Сировина	Ціна за одиницю, грн	Норма витрат на випуск продукту, кг	Сума витрат на річний випуск продукту, тис. грн
NaHSO <sub>3</sub>	14	1099,9	5620,49
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	12	207,2	907,54
NaOH	13	58,1	275,68
Очищена H <sub>2</sub> O	1,5	2149,6	1176,91
<b>Всього</b>			<b>7980,62</b>

Таблиця 3.2

#### Витрати на допоміжні матеріали

Матеріал	Одиниця вимірювання	Ціна за одиницю, грн	Норма витрат на випуск продукту, кг	Сума витрат на річний випуск продукту, тис. грн
Паперовий мішок 25 кг	шт.	20	8	58,40
Поліетиленовий мішок	шт.	16	8	46,72
Шпагат	м	0,6	4	0,88
Етикетки	шт.	0,5	8	1,46
Фанерні ящики	шт.	175	1	63,88
<b>Всього</b>				<b>171,33</b>

Інд. змін.

Дата видання  
15.05.2024

Мова  
ua

Аркуш  
50/66

### 3.2 Розрахунок капітальних витрат та на комунальні послуги

Таблиця 3.3

#### Витрати на комунальні послуги

Вид витрат	Норма витрат на річну норму продукції	Ціна, грн.	Сума витрат на річний випуск продукту, тис. грн
Електроенергія, кВт/год	92,71	6,5	219,95
Вода технічна, м <sup>3</sup>	885,78	1,6	517,30
<b>Всього</b>			<b>737,25</b>

Таблиця 3.4

#### Витрати на устаткування

Устаткування	К-ть, шт	Оптова ціна за 1шт, тис грн
Збірник	4	160
Відстійник ВОФтм.М10	1	25
Ємнісний реактор СЕРн – 10 м3	1	25,75
Центрифуга ФПН-1541Л01	1	75,5
Сушарка XSG-1400	1	16,25
Циклон СКЦН-34-900	2	185
Кристалізатор	1	81,25
Скрубер Вентурі-0,5	1	16,25
Насос відцентровий	5	62,5
Шестирінчастий насос	2	15
Шнековий дозатор	1	37,5
Випарний апарат	1	43
Гвинтовий насос	1	4
<b>Всього</b>		<b>747</b>

Інд. змін.

Дата видання  
15.05.2024

Мова  
ua

Аркуш  
51/66

## Продовження таблиці 3.4

Витрати на транспортування, тис. грн.=	5%	37,35
Витрати на монтаж обладнання, тис. грн.	40%	298,8
Витрати на амортизацію, тис. грн.	5%	37,35
Загальна вартість обладнання складає		<b>1120,50</b>

Таблиця 3.5

## Витрати на заробітну плату працівників

Професія	Загальна чисельність	Годинна тарифна ставка, грн	Сума витрат на річний випуск продукту, тис. грн
Апаратник	7	109,75	2243,29
Помічник апаратника	4	73,17	854,63
<b>Всього</b>	<b>11</b>		<b>3097,92</b>

## 3.3 Розрахунок собівартості та рентабельності

Таблиця 3.6

## Калькуляція собівартості продукції

№	Найменування статей витрат	Витрати на річний випуск продукту, тис. грн
1	Витрати на сировину та допоміжні матеріали	8151,95
2	Витрати на комунальні послуги	737,25
3	Витрати на оплату праці	3097,92
4	Витрати на утримання обладнання	1120,50
5	Витрати на збут	10
<b>Всього</b>		<b>13117,61</b>

Інд. змін.

Дата видання  
15.05.2024Мова  
uaАркуш  
52/66

Наведено розрахунок собівартості на річний випуск виробництва сульфіту натрію продуктивністю 200 кг/добу.

Отже, собівартість 1 кг отриманої продукції складає:

$$13117,61 * 1000 / 365 / 200 = 179,7 \text{ грн}$$

А рентабельність виробництва:

$$P = (213 - 179,7) / 179,7 * 100\% = 19\%$$

## РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Сульфід натрію має бути виготовлений відповідно до вимог стандарту ДСТУ ГОСТ 5644-75 за технологічним регламентом, затвердженим в установленому порядку.

У таблиці 4.1 наведено показники технічного рівня відповідно до цього стандарту для сульфід натрію вищої категорії якості.

Таблиця 4.1

### Показники сульфід натрію вищої категорії

Найменування показника	Один. вимір.	Норма показника
Зовнішній вигляд	-	Порошок чисто-білого кольору
Масова частка $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , не менше	%	97,5
Масова частка нерозчинних у воді речовин, не більше	%	0,01
Масова частка $\text{NaOH}$ в перерахунку на $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , не більше	%	0,08
Масова частка тіосульфату $\text{SO}_3^{2-}$ , не більше	%	0,004
Масова частка $\text{Fe}$ , не більше	%	0,003
Масова частка важких металів ( $\text{Pb}$ ), не більше	%	0,0005

Контроль якості на виробництві сульфід натрію є критично важливим для забезпечення відповідності продукту вимогам стандартів та технічних умов. Нижче наведено основні методи контролю якості, які використовуються на різних етапах виробничого процесу.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ IV ОРГАНІЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПРОДУКЦІЇ	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.017.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 54/66

### ***Контроль сировини***

Контроль якості починається з перевірки вхідної сировини, яка використовується для виробництва сульфіту натрію.

*Перевірка якості сировини:* сировина, така як натрій гідросульфід та кальцинована сода, повинна відповідати визначеним стандартам якості. Проводиться вхідний контроль для перевірки фізико-хімічних характеристик сировини.

*Хімічний аналіз:* методи хімічного аналізу, такі як титрування, спектрофотометрія та хроматографія, використовуються для визначення чистоти та складу сировини. Наприклад, титрування дозволяє точно визначити концентрацію активних компонентів.

### ***Контроль технологічного процесу***

Під час виробничого процесу здійснюється регулярний контроль параметрів для забезпечення стабільності та ефективності, зокрема:

- *моніторинг параметрів процесу:* вимірювання температури, тиску, концентрації розчинів та інших параметрів проводиться на кожному етапі виробництва. Це допомагає вчасно виявляти відхилення та вносити необхідні корективи.
- *пробовідбір:* на різних етапах технологічного процесу проводиться відбір проб для проведення проміжного контролю якості. Це дозволяє виявляти можливі відхилення на ранніх стадіях та запобігати виникненню дефектів у готовому продукті.

### ***Аналіз готового продукту***

Готовий продукт проходить ряд тестувань для підтвердження його відповідності встановленим стандартам:

- *фізико-хімічний аналіз:* виконується для визначення концентрації сульфіту натрію, вмісту домішок та інших показників. Методами аналізу є титрування, спектрофотометрія, хроматографія та інші.
- *спектральний аналіз:* використовуються методи, такі як інфрачервона (ІЧ) спектроскопія або ультрафіолетова (УФ) спектроскопія для підтвердження

складу продукту. Ці методи дозволяють визначати наявність та кількість різних хімічних сполук у продукті.

- *визначення вологості*: використання гравіметричних методів або сушильних ваг для вимірювання вмісту вологи в готовому продукті. Це важливо для забезпечення стабільності та тривалого зберігання сульфату натрію.

### ***Контроль пакування та зберігання***

Після виробництва важливо забезпечити правильне пакування та зберігання продукту:

- *перевірка герметичності пакування*: забезпечення, що продукт герметично запакований для запобігання впливу зовнішнього середовища, включаючи вологу та кисень, які можуть вплинути на якість сульфату натрію.

- *відповідність умов зберігання*: контроль умов зберігання, таких як температура, вологість та захист від світла, для забезпечення стабільності продукту. Важливо підтримувати оптимальні умови, щоб уникнути розкладання або утворення домішок [19].

Контроль безпеки на виробництві сульфату натрію включає заходи, спрямовані на захист працівників, навколишнього середовища та кінцевих споживачів від потенційно шкідливих впливів хімічних речовин та виробничих процесів.

### ***Контроль повітряного середовища***

Контроль повітряного середовища в виробничих приміщеннях здійснюється для виявлення та попередження перевищення концентрації шкідливих речовин.

*Моніторинг концентрації газів*. Регулярне вимірювання концентрації SO<sub>2</sub> та інших газів, що виділяються в процесі виробництва. Для цього використовуються газоаналізатори та інші пристрої.

*Вентиляційні системи*. Використання ефективних систем вентиляції для видалення шкідливих газів з робочих зон та забезпечення постійного припливу свіжого повітря.

### ***Особиста безпека працівників***

Працівники повинні використовувати спеціальні захисні костюми, рукавички, окуляри та респіратори для захисту від впливу шкідливих речовин. Мають бути регулярні навчання та інструктажі з питань охорони праці та техніки безпеки, включаючи дії у разі аварійних ситуацій.

### ***Контроль водних ресурсів***

Контроль за якістю води, що використовується у виробництві, а також очищення стічних вод є важливим аспектом охорони навколишнього середовища. Використання очисних споруд для очищення стічних вод від шкідливих домішок перед їх скиданням у водні об'єкти. Регулярні аналізи води, що використовується у виробничому процесі, для запобігання забрудненню.

### ***Зберігання та транспортування хімічних речовин***

Правильне зберігання та транспортування хімічних речовин є критичним для попередження аварій та забруднення навколишнього середовища. Використання герметичних та хімічно стійких контейнерів для зберігання сировини та готового продукту. Дотримання правил транспортування небезпечних вантажів, включаючи маркування та пакування.

### ***Екологічний контроль***

Екологічний контроль забезпечує мінімізацію впливу виробництва на навколишнє середовище, а саме регулярний контроль за станом ґрунту, води та повітря в зоні впливу виробництва. Впровадження екологічно чистих технологій, що знижують обсяги викидів та відходів виробництва [20].

## РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Правила поведінки у виробничих приміщеннях

У виробниче приміщення повинен входити персонал тільки після належної підготовки для роботи в ньому.

У виробничі приміщення допускаються особи, що пройшли спеціальну підготовку та інструктаж з правил поведінки на виробництві.

У виробничому приміщенні повинен знаходитися виключно тільки той персонал, який зайнятий у технологічному процесі.

У виробничих приміщеннях забороняється вживати їжу, палити, вирощувати рослини. Персонал не повинен вносити та зберігати у виробничих приміщеннях предмети і матеріали, що можуть стати причиною забруднення.

Деякі із заборонених предметів:

- їжа, напої, жувальна гумка;
- банки, пляшки;
- предмети, пов'язані з палінням;
- радіоприймачі, плеєри, CD-програвачі тощо;
- абразивні матеріали і порошки;
- аерозольні балончики та пляшки;
- особисті лікарські препарати;
- речі, зроблені з вовни, гуми, паперу, бавовни, шкіри та інших природних матеріалів;
- газети, журнали, книги, паперові носові хустки;
- бумажники, гаманці, футляри для окулярів, ключі, документи, гребінці та інші особисті речі;
- олівці, ластиків та інше приладдя для письма, рідини для коректування.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Звіт з практики	Статус документа			
Власник документа НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва РОЗДІЛ V ЕКОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ	ННІХТ.ХТ-4-14.024.161.011.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 58/66

При вході та виході дверей не можна залишати відкритими, оскільки при цьому може статися зміна в різниці тиску, або виникнути небажаний рух повітря між приміщеннями.

Не треба різко відчиняти і зачиняти двері, оскільки це може привести до збільшення обміну повітрям між приміщеннями.

Проходячи в приміщення з більш високим класом чистоти через повітряний шлюз, персонал повинен пересвідчитися, що перші двері зачинені, і лише потім відчиняти наступні двері.

Персонал повинен входити у виробниче приміщення і залишати його тільки через зону переодягання.

У виробничих приміщеннях персонал повинен пересуватися рівномірними кроками. Рухи не повинні бути поривчастими [21].

### **5.1 Правила поведінки технічного персоналу**

Монтаж та обслуговування обладнання повинен забезпечувати технічний персонал.

Технічний персонал повинен входити у виробниче приміщення тільки в разі потреби.

Технічний персонал повинен знати і виконувати правила поведінки у виробничих приміщеннях або знаходитися під ретельним контролем під час перебування в них.

Технічний персонал повинен бути одягнений в такий же одяг (або одяг, що забезпечує таку ж ефективність), що і персонал виробничого приміщення, а також повинен бути ознайомлений з методами переодягання при вході та виході з приміщень.

Інструмент, який використовується для монтажних робіт і зберігається у виробничому приміщенні, має бути очищений, продезінфікований або, за необхідності, простерилізований і використовуватися виключно в ньому.

Інструмент, який необхідно внести у виробниче приміщення, має бути заздалегідь очищений, продезінфікований, а за необхідності, простерилізований.

Інструмент належить зберігати і переносити в спеціально призначених пакетах або контейнерах не дозволяється використовувати чемодани або портфелі.

Запасні частини та інші предмети, що мають пакування, повинні бути звільнені від неї поза зоною проведення робіт, а самі деталі очищені та оброблені дезінфекційним розчином.

Технічний персонал не повинен вносити у виробниче приміщення предмети і матеріали, зазначені вище.

По закінченні робіт технічний персонал повинен провести прибирання зони роботи, використовуючи спеціальне обладнання і засоби для очищення, які дозволені до використання в цьому приміщенні [21].

### **5.3 Охорона навколишнього середовища**

Хімічне виробництво має значний вплив на навколишнє середовище через використання різноманітних хімічних речовин та виробничих процесів. Тому охорона навколишнього середовища та дотримання екологічних стандартів безпеки є надзвичайно важливими аспектами в цій галузі.

Основні аспекти охорони навколишнього середовища у фармацевтичному виробництві:

#### *1. Управління відходами:*

- Класифікація відходів: відходи хімічного виробництва класифікуються на небезпечні та не небезпечні, залежно від їх складу та потенційного впливу на довкілля;
- Знешкодження відходів: використовуються спеціальні методи знешкодження небезпечних відходів, такі як інсинерація, хімічне нейтралізування та утилізація на спеціалізованих полігонах;

#### *2. Контроль викидів:*

- Атмосферні викиди: встановлюються сучасні системи фільтрації та очищення повітря для зменшення викидів шкідливих речовин в атмосферу;

- *Водні викиди:* впроваджуються системи очищення стічних вод перед їх скиданням у природні водні об'єкти, з метою зменшення концентрації хімічних забруднювачів;

### 3. *Раціональне використання ресурсів:*

- *Водні ресурси:* використання замкнених циклів водопостачання та очищення води для зменшення споживання прісної води;
- *Енергетичні ресурси:* впровадження енергоефективних технологій та використання відновлювальних джерел енергії;

### 4. *Впровадження екологічно чистих технологій:*

- *Заміна небезпечних речовин:* використання менш шкідливих хімічних речовин та реагентів у виробничих процесах;
- *Зменшення відходів:* оптимізація виробничих процесів для мінімізації утворення відходів;

### 5. *Моніторинг та контроль:*

- *Регулярний моніторинг:* проводиться регулярний моніторинг викидів та відходів для забезпечення відповідності екологічним стандартам;
- *Аудити та сертифікація:* підприємства проходять екологічні аудити та сертифікацію за міжнародними стандартами, такими як ISO 14001.

## ***Екологічні стандарти безпеки***

### 1. *Міжнародні стандарти:*

- *ISO 14001:* Стандарт систем екологічного управління, який визначає вимоги до управління екологічними аспектами діяльності підприємства.
- *REACH:* Регламент ЄС щодо реєстрації, оцінки, авторизації та обмеження хімічних речовин.

### 2. *Національні стандарти:*

- В Україні діють нормативні документи та регламенти, які встановлюють вимоги до охорони навколишнього середовища у фармацевтичному виробництві, зокрема, закони про охорону навколишнього природного середовища та про відходи.

### 3. Внутрішні стандарти підприємств:

- Розробка та впровадження внутрішніх екологічних стандартів і політик, які відповідають вимогам національних та міжнародних норм.

*Практичні заходи для забезпечення екологічної безпеки:*

- **забезпечення відповідності законодавству:** Постійне відстеження змін у законодавстві та адаптація до нових вимог.
- **Екологічна освіта персоналу:** Регулярне навчання працівників з питань екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища.
- **Впровадження інновацій:** Інвестиції у новітні технології та обладнання, що сприяють зменшенню екологічного навантаження.
- **Співпраця з громадськістю:** Взаємодія з місцевими громадами та громадськими організаціями для забезпечення прозорості та підвищення екологічної відповідальності.

Дотримання цих принципів і стандартів дозволяє хімічним підприємствам мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище та забезпечити стале виробництво [22].

## ВИСНОВКИ

1. Було здійснено аналіз науково-технічної літератури та запропоновано удосконалення технології отримання сульфїту натрію. Додана стадія випарювання дозволяє підвищити концентрацію натрій сульфїту в розчині, тим самим забезпечуючи більш чисту та якісну кінцеву продукцію.
2. Розроблено удосконалені принципово та апаратурно-технологічні схеми, які призводять до оптимізації виробництва.
3. Розраховано матеріальний баланс кожної зі стадій виробництва сульфїту натрію продуктивністю 200 кг/добу.
4. Підібрано основне технологічне обладнання та проведено розрахунок розпилювальної сушарки, габарити якої: діаметр камери – 2,5 м, висота циліндричної частини камери – 2,4 м, висота конічної частини камери – 1,6 м, загальна висота камери – 4 м.
5. Розраховано економічну ефективність даного виробництва, собівартість 1 кг продукції становить 179,7 грн, а рентабельність складає – 19%.
6. Наведено заходи з охорони праці та екології навколишнього середовища.
7. Описано організацію контролю якості кінцевого продукту – сульфїту натрію.
8. Удосконалення, що були здійсненні при виробництві сульфїту натрію, а саме додавання стадії випарювання за допомогою випарного апарату, дозволяють підвищити концентрацію розчину перед кристалізацією та забезпечують вищу якість отриманого кінцевого продукту.

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва  ВИСНОВКИ	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.019.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 63/66

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ICSC database. International Chemical Safety Cards (ICSCs): Sodium sulfite. URL: [https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p\\_card\\_id=1200](https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=1200)
2. Barberá JJ, Metzger A, Wolf M. Sulfites, thiosulfates, and dithionites chemistry. In: *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH, Weinheim; 2000:695-704.
3. Production of light-colored medium-density fibreboard (MDF) from old fibreboard comprises treatment with sodium sulfite, conversion into pulp and feeding into the blow-line of an MDF plant. Патент DE19958756A1. 2001-06-13. URL: <https://patents.google.com/patent/DE19958756A1/en>
4. Стасиневич Д. С. Натрия сульфит : статья // Краткая химическая энциклопедия / Редкол.: Кнунянц И. Л. (отв. ред.) и др.. — М. : Советская энциклопедия, 1964. — Т. 3: Мальтаза—Пиролиз. — С. 384.
5. Haist G. M. *Modern Photographic Processing*. — New York, Chichester, Brisbane, Toronto: John Wiley and sons, 1979. — Т. 1. — (Photographic science and technology and graphic arts). — ISBN 0-471-02228-4.
6. Система оптимум. Сульфит натрію – консервант, відбілювач, антиоксидант. URL: <https://www.systopt.com.ua/article-sulfit-natriyu--konservant-vidbilyuvach-antyoksydant>
7. Рубан О. А. Натрію сульфит. *Фармацевтична енциклопедія*. URL: <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/7326/natriyu-sulfit>
8. Chan, P.N.A. (2015). Chemical Properties and Applications of Food Additives: Preservatives, Dietary Ingredients, and Processing Aids. In: Cheung, P., Mehta, B. (eds) *Handbook of Food Chemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5\\_37](https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5_37)

Відповідальна організація НУХТ, каф. ТЖХТ	Технічне узгодження Романова О.О.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документа  НУХТ	Розробник документа Шульга Д.О.	Назва, додаткова назва СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	ННІХТ.ХТ-3-14.024.161.020.КП.ПЗ			
	Документ затверджено Носенко Т.Т.		Інд. змін.	Дата видання 15.05.2024	Мова ua	Аркуш 64/66

9. Production of sodium sulfite. Патент US4003985A. 1976-01-30. URL: <https://patents.google.com/patent/US4003985A/en>
10. Process for the manufacture of anhydrous sodium sulphite. Патент GB1087090A. 1964-12-29. URL: <https://patents.google.com/patent/GB1087090A/en>
11. В. І. Саранчук, М. О. Ільяшов, В. В. Ошовський, В. С. Білецький. Хімія і фізика горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — с. 600.
12. Richardson, G. N., "Sodium Hydroxide: A Versatile Industrial Chemical." Industrial Chemistry Publications, 2011.
13. Johnstone, H. F. (1946). "Sulfites and Pyrosulfites of the Alkali Metals". Inorganic Syntheses. Vol. 2. pp. 162–167. doi:10.1002/9780470132333.ch49
14. Методичні рекомендації до складання матеріального та енергетичного балансу в хімічній технології для студентів напряму підготовки 6.051301 "Хімічна технологія" денної форми навчання [Електронний ресурс] / уклад. : О. Г. Макаренко, І. В. Житнецький. - К. : НУХТ, 2015. - 21 с.
15. Процеси і апарати харчових виробництв: Підручник / За ред.. проф. І. Ф. Малезика. – К.: НУХТ, 2003. – 400с.
16. Литовченко, І.М. Основи проектування хімічних виробництв [Електронний ресурс]: конспект лекцій для студ. напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» ден. форми навч. / І.М. Литовченко – К.: НУХТ, 2014. – 37 с.
17. Основи проектування хімічних виробництв [Електронний ресурс]: лабораторний практикум для студ. напряму підготовки 6.051301 «Хімічна технологія» денної форми навчання / уклад.: І. М. Литовченко, М. Г. Десик. – К.: НУХТ, 2014. – 33 с.
18. Економіка, організація та управління хімічних виробництв: [Електронний ресурс] конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня бакалавр спеціальності 161«Хімічні технології та інженерія» освітньо-професійної програми «Хімічна технологія» денної та заочної форм навчання/Г.Ф.Ємцева. Київ: НУХТ, 2021, 144 с. №44.188-03.06.2021.

19. Основи охорони праці: підручник / ред. Н.І. Семенова. Харків: Видавництво ХНУ, 2018. – 480 с.
20. International Organization for Standardization (ISO). ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. Geneva: ISO, 2015. – 40 p.
21. Млавець Ю.Ю. Охорона праці (конспект лекцій для студентів математичного факультету і факультету післядипломної освіти та доуніверситетської підготовки). Ужгород: ДВНЗ “УжНУ”, 2015. С. 56.
22. ISO 14001:2015 Environmental management systems - Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization (ISO), 2015. URL: <https://www.iso.org/iso-14001-environmental-management.html>